

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Kontrola jakości zbiorników ciśnieniowych z wykorzystaniem systemu wideo-ultradźwiękowego

JERZY JAROSZEWICZ, MARCIN GODLEWSKI
POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA

Słowa kluczowe: zbiornik ciśnieniowy, korozja, badanie techniczne, wideo-ultradźwięki, kontrola, czynna grubość płaszcza

STRESZCZENIE

W niniejszej pracy zaprezentowano metodę wideo-ultradźwiękową do kontroli jakości zbiornika ciśnieniowego, „Chemar” Kielce S.A. JCG16930L, pracującego jako odgazowywacz 2QS w Elektrociepłowni Białystok S.A. /EC/, narażonego na korozję wżerową. Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że w 19-letniej praktyce eksploatacyjnej odgazowywacza w EC występowały, niewykrywalne dotychczas stosowanymi metodami pomiarowymi, przypadki korozji elektrochemicznej na jego poszyciu. W artykule przedstawiono aktualnie stosowane metody badań jakości odgazowywacza wg. zaleceń Urzędu Dozoru Technicznego oraz wykazano zalety zaproponowanej metody, w szczególności: większe prawdopodobieństwo wykrycia korozji mikrowżerowej bez wyłączenia zbiornika z ruchu. Dokonano analizy SWOT proponowanej metody.

The quality control of pressure vessels with the use of ultrasound video system

Keywords: ultrasound video system, pressure vessel, quality control, corrosion

ABSTRACT

In this paper the application of video-quality ultrasonic inspection method of the pressurise of vessel, “Chemar” Kielce S.A. JCG16930L, functioning as a degasser the 2QS in CHP Białystok S.A., exposed to pitting corrosion has been presented. The operation experience shows that, in 19 years of usage of degasser there have been cases of degasser electrochemical corrosion of the hull, which the current method of measurement has not been able to detect. We present the currently used methods of quality testing desecrator based on the recommendations of the Office of Technical Inspection, and propose method, showing its advantages, in particularly: bigger probability of finding of micro corrosion places without stopped exploitation of the degasser. SWOT of the proposed method analysis has been conducted.

1. WSTĘP

Odgazowywacz 2QS, pracujący pod ciśnieniem roboczym powyżej 0,5 bara, należy do grupy urządzeń nisko ciśnieniowych, które poddawane są kontrolom przeprowadzanym przez inspektorów Urzędu Dozoru Technicznego [1, 2].

Podczas okresowych badań eksploatacyjnych urządzenia przeprowadza się rewizję zewnętrzną co 2 lata, rewizję wewnętrzną co 10 lat, przy czym próby ciśnieniowe nie są przeprowadzane, oraz książka ruchu nie jest wymagana. Podane wyżej okresy są maksymalnie dopuszczalnymi.

Obecnie badania okresowe odgazowywacza, przykładowo 2QS w EC Białystok, wykonywane są następującymi metodami badań nieniszczących.

Podczas kontroli okresowych, spoiny zbiornika bada się metodami wizualnymi. Po wykryciu ewentualnych niewielkich ubytków na spoinach uzupełnia się badania metodą penetracyjną, albo przeprowadza próbę hydrauliczną. Wzrokowo sprawdza się obecność korozji, nieciągłości i deformacji spoin. Każdorazowo podczas kontroli sprawdza się stan wszelkich zainstalowanych elementów.

Metoda penetracyjna umożliwia wykrywanie nieciągłości powierzchniowych otwartych. Do przeprowadzenia badań szczelności zbiornika niezbędne jest jego otwarcie i wyłączenie z eksploatacji na czas badania, gdyż w tym przypadku wymagany jest dostęp do obu stron ściany zbiornika. Przy badaniach pęknięć samych spoin wystarczy dostęp do zewnętrznej strony spoiny.

Pomiar faktycznej grubości płaszcza zbiornika wykonywany jest grubościomierzem ultradźwiękowym SONO M600 z głowicą M-57. Przy założonym poziomie istotności uzyskuje się uśrednioną grubość pozostającej ścianki płaszcza zbiornika. Wynik porównuje się z teoretycznymi obliczeniami wytrzymałościowymi minimalnej grubości płaszcza.

Znacznie trudniejszą do wykrycia wspomnianymi metodami badań nieniszczących jest korozja wżerowa. Z uwagi na lokalizację i rozmiary, niemożliwa jest do wykrycia bezpośrednimi badaniami wizualnymi. Jest to najczęściej korozja typu elektrochemicznego, charakteryzująca się nierównomiernym rozmieszczeniem na powierzchni materiału. Intensywność procesu korozyjnego w obrębie wżeru może być wielokrotnie większa niż w przypadku korozji równomiernej w przylegających obszarach materiału. Oznacza to, że konwencjonalne punktowe pomiary grubości ścianki

mają tutaj bardzo ograniczoną przydatność. Szansa przypadkowego „trafienia” na najgłębsze wżery korozyjne jest bardzo mała, zaś wyniki pomiarów odzwierciedlać będą raczej średnią grubość ścianki niż rzeczywisty stan zaawansowania korozji wżerowej. Jednym z możliwych udoskonaleń metody ultradźwiękowej jest w takim przypadku przeprowadzenie pełnego skanowania ultradźwiękowego powierzchni elementu z ewentualną automatyzacją procesu rejestracji danych [3]. Znaczącą poprawę pracy odgazowywacza może przynieść wymiana skorodowanych, zatkanych rurociągów na nowe – uzyska się wówczas istotne zmniejszenie oporów przepływu i poprawę charakterystyk przepływowych urządzenia. Praktyka eksploatacyjna pokazuje, że po około 15 latach pracy w zakresie wydajności pomp, sprawność zmniejsza się o blisko 10% [4-5].

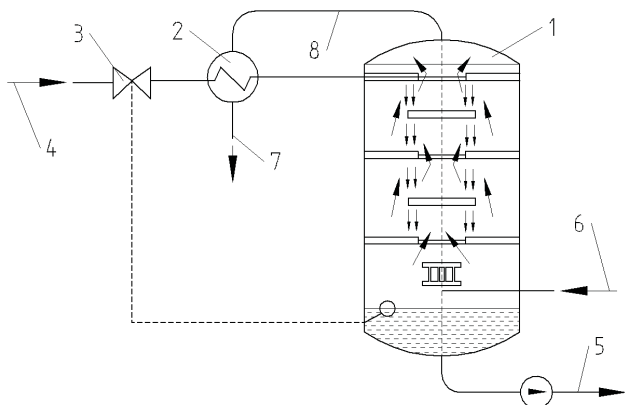
Autorzy pracy stawiają tezę, że tylko skanowanie grubości ścianki zbiornika w miejscach szczególnie narażanych na korozję z wykorzystaniem systemu wideo-ultradźwiękowego może precyzyjnie określić stan techniczny, przyczyny niesprawności oraz określić terminy kolejnych badań i remontów urządzenia.

2. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA ODGAZOWYWACZA

Odgazowywacz 2QS wykonany jest jako zbiornik walcowy spawany z blach kotłowych St36k-ZH. Jest jednym z elementów obiegu parowo-wodnego kotłowni. Jest to zbiornik cienkościenny, w którym występuje dwuosiowy stan naprężeń. Wewnątrz odgazowywacza zabudowany jest system kaskad umożliwiający wtórne dogrzanie wody. Dolna część odgazowywacza stanowi zbiornik wody odgazowanej. Woda odgazowana przeznaczona jest do uzupełniania strat w sieci ciepłowniczej. Proces odgazowywania przebiega pod ciśnieniem nieco wyższym od atmosferycznego. Nadciśnienie wyklucza kontakt wody zasilającej z atmosferą i powtórne rozpuszcza nie się gazów.

3. OPIS DOTYCHCZAS STOSOWANEJ METODY ULTRADŹWIĘKOWEJ POMIARU CZYNNEJ GRUBOŚCI PŁASZCZA

Przykładowy pomiar grubości płaszcza zbiornika grubościomierzem ultradźwiękowym SONO M600 z głowicą M-57 wykonywano w pięciu płaszczyznach, w czterech punktach na obwodzie



Runek 1 Schemat układu odgazowywacza termicznego: 1 – kolumna odgazowania, 2 – wymiennik podgrzewania wstępnego, 3 – zawór regulacyjny, 4 – doprowadzenie wody, 5 – odprowadzenie wody, 6 – doprowadzenie pary, 7 – odprowadzenie skroplin, 8 – opary [6]

Figure 1 Schema of thermal degasser: 1 – kolumna, 2 – first heat exchange, 3 – value regulator, 4 – lead water, 5 – feed water, 6 – steem feed, 7 – drainig of liquid, 8 – vaponus [6]

płaszczu odgazowywacza. Wykonując 15 pomiarów uzyskano następujące wyniki [7]:

- minimalna wykryta grubość ścianki zbiornika to 5,0 mm,
- maksymalna wykryta grubość ścianki zbiornika to 9,1 mm,
- średnia arytmetyczna wyników to 7,16 mm.

Zazwyczaj wyniki pomiarów (maksymalnie 30) interpretuje się za pomocą rozkładu statystycznego Studenta t na poziomie istotności 0,05 według wzoru [8]

$$g_{0,95} = x_{\text{śred}} - t \cdot s(x) \quad (1)$$

gdzie:

$g_{0,95}$ – minimalna grubość ścianki oszacowana na poziomie istotności 0,05 (mm),

$x_{\text{śred}}$ – średnia arytmetyczna wyników pomiaru (mm),

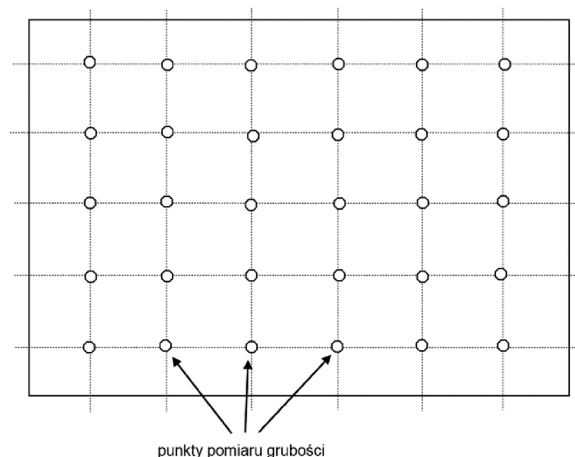
t – parametr pobierany z tabeli rozkładu Studenta t,

$s(x)$ – odchylenie standardowe.

Po podstawieniu danych do wzoru otrzymujemy:

$$g_{0,95} = 7,16667 - 0,1314 \cdot 1,16537 \approx 7,01 \text{ mm}$$

Oszacowana grubość ścianki wynosi 7,01 mm przy 95% pewności, że wynik jest prawdziwy.



Rysunek 2 Badanie grubościomierzem ultradźwiękowym przy pomocy siatki pomiarowej [8]

Figure 2 Researchers ultrasonic thickmeters with mensuration mesh [8]

W tym konkretnym przypadku minimalna bezpieczna grubość ścianki zbiornika to 6,15 mm. Zbiornik ciśnieniowy nadaje się do dalszej eksploatacji, ponieważ grubość ścianki jest większa od minimalnie wymaganej (7,01 mm > 6,15 mm). Oznacza to że odgazowywacz w tym przypadku można dalej bezpiecznie użytkować. Przykładowe fotografie, przedstawiające skorodowane powierzchnie kaskad, pokazano na Rysunku 3.

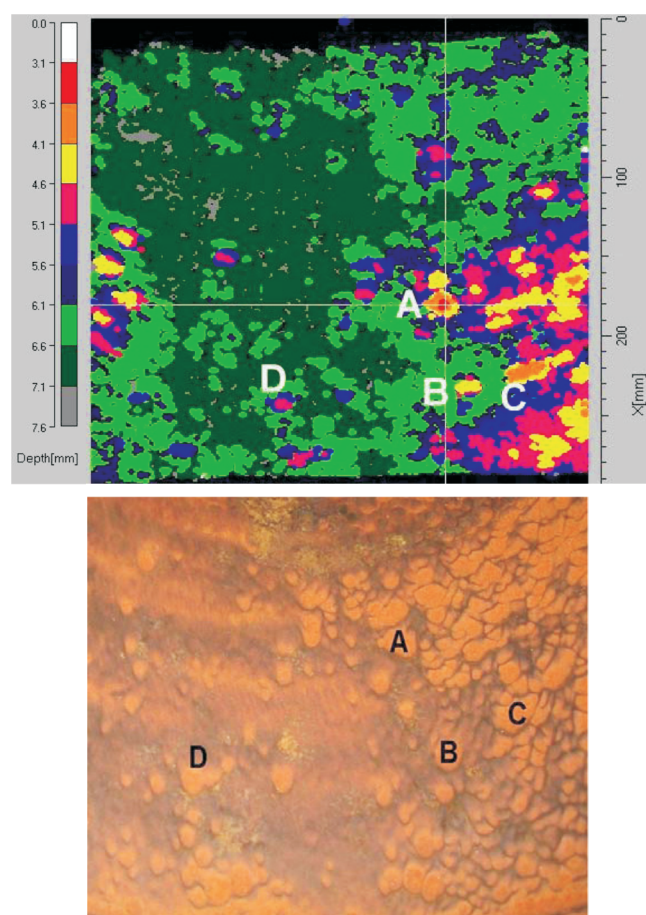


Rysunek 3 Zdjęcie wnętrza zbiornika ciśnieniowego wykonane podczas remontu w 2010 r. w EC Białystok

Figure 3 Photo of pressurvise of vessel make during repairs in Białystok EC

4. OPIS PROPONOWANEJ METODY Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU WIDEO-ULTRADŹWIĘKOWEGO

Metoda wykorzystuje sygnał wizji z kamery do lokalizacji położenia głowicy na badanym elemencie. Umożliwia rejestrację i prezentację wyników badania pod postacią obrazowania typu C w czasie rzeczywistym z archiwizacją danych (Rys. 4). Ręczne prowadzenie głowicy umożliwia skanowanie na płytach płaskich, jak i dowolnie zakrzywionych powierzchniach. Za jej pomocą możliwe jest badanie wszelkich typów korozji na płaszczach zbiorników ciśnieniowych. Posiada zautomatyzowaną ocenę elementów badanych na podstawie przyjętej normy, procedur itp. oraz wysoką powtarzalność wyników [9].



Rysunek 4 Obrazowanie typu C przedstawiające sonogram wykrytej korozji wżerowej (oznaczonej punktami A-D) na ścianie zbiornika ciśnieniowego [10]
Figure 4 Visualization type C of sonogram corrosion of hull on vessel on wall of vessel [10]

System składa się z trzech komponentów: defektoskopu, inteligentnej kamery cyfrowej i komputera z oprogramowaniem. Kamerę umieszcza się nad badaną powierzchnią, aby była widocz-

na na ekranie komputera. Po badanej powierzchni przesuwa się ręcznie głowicę z diodą LED na obudowie. Za pomocą głowicy, emitującej fale ultradźwiękowe, bada się grubość blachy poszycia zbiornika na podstawie zbieranych przez komputer czasów przejścia fal. Powstałe w ten sposób wyniki grubości służą jako oś Y obrazowania typu C. Jednocześnie osie X i Z w obrazowaniu tworzone są za pomocą śledzenia kamerą diody LED umieszczonej na głowicy. Dodatkowo, w polu widzenia kamery rozmieszcza się świecące markery z diodami LED, dzięki czemu możliwe jest dokładne ustalenie pozycji głowicy w układzie współrzędnych badanego elementu. Powstałe trzy osie składają się na obraz 3D kontrolowanej powierzchni. Przykładowy obraz z naniesioną mapą wad, uzyskany przedstawioną metodą, pokazano na Rysunku 5.



Rysunek 5 Obraz z naniesioną mapą wad oraz wykrytą głowicą i markerami [9]

Figure 5 Picture of map disadvantages and head and markers [9]

Wykrycie markerów z obrazu kamery możliwe jest dzięki jaskrawości koloru diod świecących. Wybór jednego koloru świecenia diod np. czerwonego pozwala na ograniczenie analizowanego obrazu RGB tylko do jednego kanału czerwonego. Obraz poddawany jest progowaniu, gdzie kanał czerwony zamieniany jest na białe piksele, a reszta obrazu pozostaje czarna. Następnie taki obraz analizowany jest przez komputer, który grupuje piksele obrazu pod względem jasności świecenia. Obszary o największej jasności i najmniejszej są eliminowane. Dla reszty obszarów liczona jest ich wielkość i środek symetrii. Pozwala to na wykrycie markerów z dużym prawdopodobieństwem [9].

Należy podkreślić, że pomiary punktowe płaszczu zbiornika ciśnieniowego są niewłaściwą me-

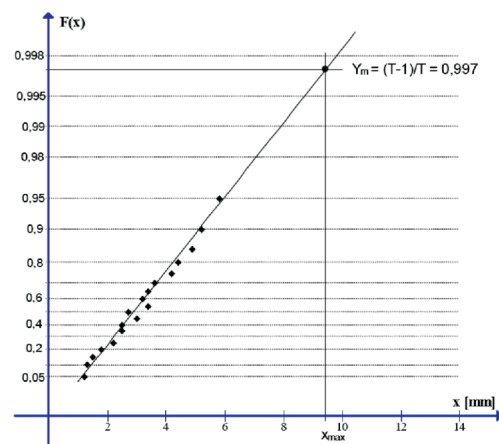
tołą do wykrywania korozji zlokalizowanej. Korozja tego typu w pomiarach grubości ścianek grubościomierzem ultradźwiękowym może zostać wykryta jako korozja równomierna. Nawet gęste rozmieszczenie punktów pomiarowych na siatce, nie gwarantuje wykrycia pojedynczych małych wżerów, szczelin, czy pęknięć korozyjnych. Dlatego też, metoda ta może prowadzić do poważnego niedoszacowania uszkodzeń korozyjnych [8].

Metoda systemu wideo-ultradźwiękowego pozwala na bardzo dokładnie badanie powierzchni płaszcza. Bada się jedynie wybrane na podstawie doświadczenia eksploatacyjnego fragmenty ocenianej powierzchni (Rys. 6). Wyniki badania poddawane są analizie statystycznej. Ocena całej powierzchni zbiornika wymaga skanowania głowicą ze 100% pokryciem płyt kontrolnych.

5. STATYSTYCZNA OCENA KOROZJI ZLOKALIZOWANEJ

Metoda oszacowania najgłębszego wżeru w badanej powierzchni opiera się na statystycznej teorii wartości ekstremalnych dla rozkładu Gumela typu I, zwanego rozkładem podwójnie eksponentialnym [8].

Do praktycznego zastosowania procedury należy na podstawie wyników badań na płytach kontrolnych określić parametry rozkładu Gumbela dla populacji wżerów występujących na ocenianej powierzchni. Wykorzystuje się do tego wykresy prawdopodobieństwa.

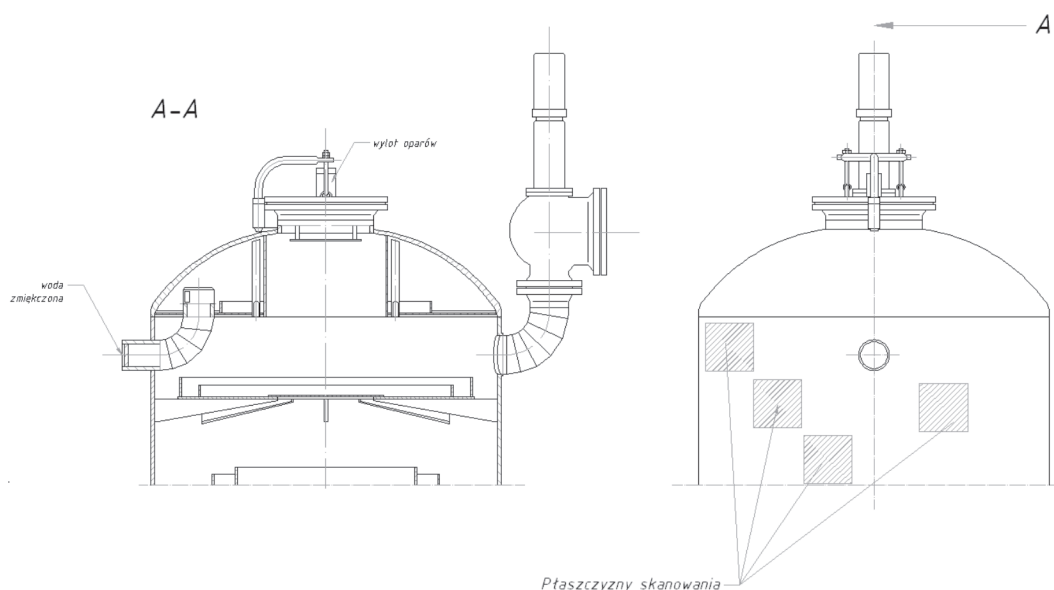


Rysunek 7 Wykres funkcji $F(x)$ w nowym układzie współrzędnych [8]

Figure 7 Diagram of function $F(x)$ in new coordinate [8]

Nachylenie prostej jest odwrotnością parametru α , a punkt przecięcia odpowiada punktowi λ . Na wykresie są nanoszone punkty odpowiadające maksymalnym głębokościom wżerów na przebadanych płytach kontrolnych. Jeśli punkty nałożą się wzdłuż linii prostej będzie to oznaczało, że pasują do rozkładu Gumela. Punkt przecięcia z osią $F(x)$ oraz nachylenie prostej wyznaczają parametry tego rozkładu. W rozpatrywanym przykładzie wykresu, maksymalny wżer, możliwy do wystąpienia w zbiorniku to 9,4 mm przy prawdopodobieństwie równym 0,997.

W praktyce, wszelkie obliczenia wykonuje się z zastosowaniem specjalnie do tego celu napisanych programów.



Rysunek 6 Skanowanie ultradźwiękowe losowo wybranych płyt kontrolnych zbiornika 2QS. Oprac. własne na podstawie dokumentacji odgazowywacza

Figure 6 Ultrasonic stochastic scanning of control recess of vessel 2QS. Own elaboration on the basis of documentation of degasser

6. INSTRUKCJA PRZEPROWADZENIA BADAŃ

Przed przeprowadzeniem badania należy wykonać następujące czynności przygotowawcze:

1/ przygotowanie powierzchni poprzez jej wyczyszczenie, wyznaczenie 4-ch pól wymiarach 250x250 mm przy pomocy przymiaru kreskowego i rysika (Rys.7), ustawienie 4-ch markerów pomiarowych w 4-ch rogach powierzchni pomiarowej, podłączenie do zasilania urządzenia pomiarowego do zaświecenia się diod LED,

2/ podłączenie kamery, defektoskopu, PC, uruchomienie programów wizualizacji i statystycznej oceny wykrytych wad,

3/ ustawienie kamery i defektoskopu /np. CUD/.
Przeprowadzenie badania obejmuje:

1/ pomiar grubości powłoki za pomocą miernika lakieru i oszacowanie poprawki na powłokę nie-metaliczną, wprowadzenie poprawki do programu,

2/ oszacowanie maksymalnej powierzchni badań,

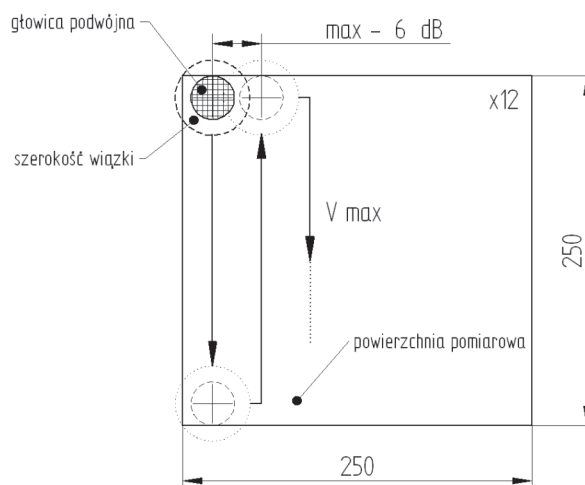
3/ dokonanie pomiaru powierzchni badanej wg schematu sposobu prowadzenia głowicy (Rys.7),

4/ w przypadku wykrycia wady w postaci korozji zlokalizowanej, należy przeskanować tę powierzchnię ponownie,

5/ program, na podstawie danych pomiarowych,

oszacuje minimalną grubość ścianki oraz maksymalną wielkość wżeru.

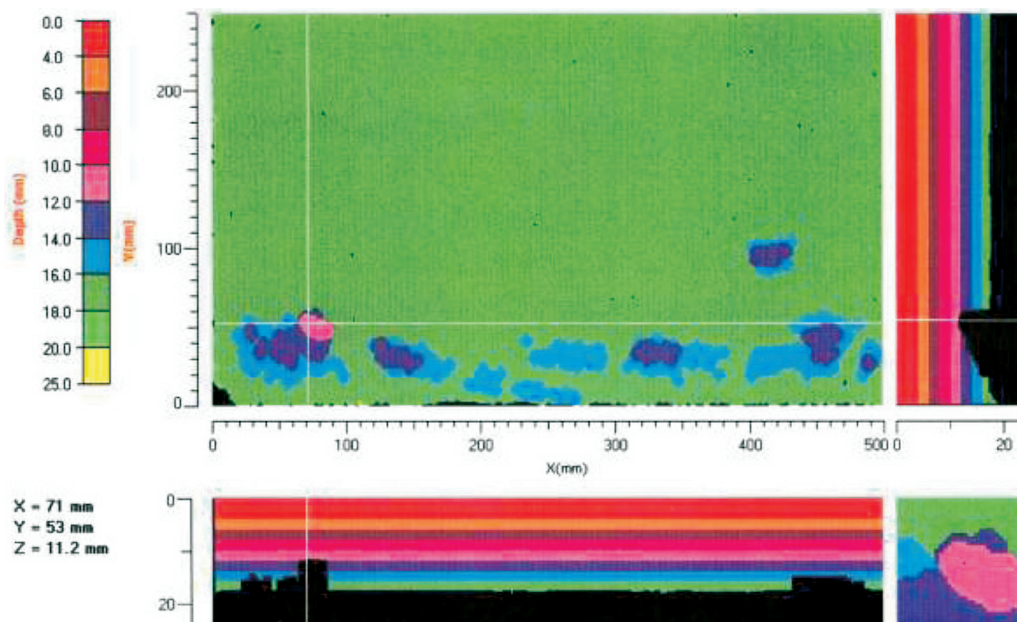
Po przeprowadzeniu skanowania powstaną kolorowe mapy wykrytych wad i pozostającej grubości ścianki (Rys. 8).



Rysunek 8 Schemat prowadzenia głowicy po powierzchni pomiarowej. Źródło oprac. własne na podst. PN – EN 583-2: 2004

Figure 8 Schema of head guidance on surface measurement. Own elaboration on the basis of PN – EN 583-2: 2004

Wyniki badania prezentowane są za pomocą obrazowania typu C [10]:



Rysunek 9 Ultradźwiękowa mapa grubości ścianki zbiornika w obszarze płyta kontrolnego o wymiarach 500x300 mm uzyskana systemem Mapscan firmy RTD [8]

Figure 9 Ultrasonic map of thickness wall of vessel in area of control panel with value 500x300 getting from Mapscan system RTD [8]

7. PODSUMOWANIE I ANALIZA SWOT PRO- PONOWANEJ METODY BADANIA

Białystok nie dysponuje wynikami badań z proponowanego stanowiska kontrolnego.

EC S.A. Białystok rozważa wprowadzenie proponowanej metody. Celowość jej stosowania potwierdza analiza SWOT. Na tym etapie EC S.A.

ANALIZA SWOT WYKORZYSTANIA SYSTEMU WIDEO- ULTRADŹWIĘKOWEGO	Wagi	Skala oceny	Razem
MOCNE STRONY	1	18	4,7
Możliwość szczegółowego badania bez wyłączania odgazowywacza.	0,5	5	2,5
Wystarczy jedno badanie, aby stwierdzić ogólny stan zbiornika.	0,2	5	1
Urządzenie pomiarowe można zastosować do badania innych zbiorników, rur.	0,1	4	0,4
Mniejszy koszt realizacji badania.	0,2	4	0,8
SŁABE STRONY	1	- 14	- 3,2
Potrzeba wyspecjalizowanych pracowników.	0,3	- 3	- 0,9
Dodatkowe szkolenia pracowników.	0,1	- 2	- 0,2
Wysoki koszt urządzenia.	0,3	- 5	- 1,5
Trudność ustawienia wszystkich parametrów i miejsc pomiarowych.	0,15	- 3	- 0,45
Wysokie koszty naprawy urządzenia pomiarowego w przypadku awarii.	0,15	- 1	- 0,15
SZANSE	1	14	3,8
Wydłużenie eksploatacji odgazowywacza.	0,3	3	0,9
Wydłużenie czasu między naprawami zbiornika.	0,1	3	0,3
Szybkie i łatwe zauważenie korozji zbiornika.	0,2	3	0,6
Większy poziom bezpieczeństwa użytkownika zbiornika	0,4	5	2
ZAGROŻENIA	1	- 12	- 4,7
Możliwość błędnej interpretacji wyników.	0,6	- 5	- 3
Możliwość pominięcia większego uszkodzenia.	0,3	- 5	- 1,5
Błędne ustawienie urządzenia pomiarowego może powodować zafałszowanie wyników.	0,1	- 2	- 0,2

8. PODSUMOWANIE

Zaprezentowana powyżej analiza świadczy o potrzebie przeanalizowania opcji zakupu urządzenia do „nowej” metody pomiarowej. Można przypuszczać, że inwestycja ta będzie opłacalna jeśli pracownicy przeprowadzający badanie będą mieli

wystarczającą wiedzę ze znajomości budowy i działania odgazowywacza oraz metody przeprowadzania badania. Dzięki dużej wszechstronności SYSTEMU, można stosować go do innych zbiorników, rur czy konstrukcji, co znacząco może niwelować wysokie koszty zakupu urządzenia.

LITERATURA

- [1] Milczarek A., Borysewicz M., Podręcznik oceny zgodności raportu o bezpieczeństwie z wymaganiami przepisów odnoszących się do zapobiegania poważnym awariom przemysłowym, Warszawa, 2002.
- [2] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 lipca 2002 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu (Dz.U. Nr 120, poz. 1021), zmienione rozporządzeniem z dnia 3 lutego 2003 r. (Dz.U. Nr 28, poz. 240), wydane na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy o dozorcze technicznym.
- [3] Godlewski M., Metoda kontroli jakości zbiorników ciśnieniowych w Elektrociepłowni Białystok S.A. na przykładzie odgazowywacza, praca inżynierska, Politechnika Białostocka, Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji 2010, s.77, wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Jerzego Jaroszewicza /na prawach rękopisu/.
- [4] Kopciewski St., Jaroszewicz J., Energooszczędna eksploatacja pomp wirowych, zwłaszcza w energetyce i ciepłownictwie. Przegląd Mechaniczny, nr 7-8/01, s. 15.
- [5] Kopciewski St., Jaroszewicz J., O potrzebie stosowania kompleksowej diagnostyki pomp wirowych, Pompy – pompownie, X forum użytkowników pomp, Słok k. Belchatowa 2003, s.179
- [6] Stańda J., Woda dla kotłów parowych i obiegów chłodzących siłowni ciepłych, WNT, Warszawa 1999. s.187-195.
- [7] Norma PN – EN 14253-1: 1998, Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) - Kontrola wyrobów i sprzętu pomiarowego za pomocą pomiarów - Reguły orzekania zgodności lub niezgodności ze specyfikacją.
- [8] Mackiewicz S., Statystyczna ocena uszkodzeń korozyjnych na podstawie badań ultradźwiękowych, XIV Seminarium, Nieniszczące Badania Materiałów, Zakopane, 4 - 7 marca 2008, IPPT PAN Warszawa.
- [9] Michnowski W., Mierzwa J., Gajewski M., Badania wideo-ultradźwiękowe VUD, Wyposażenie – kamera komputerowa VUD010, Wrocław 2004.
- [10] Materiały informacyjne systemu ultradźwiękowego skaningowego – Mapscan firmy RTD Röntgen Technische Dienst b.v., 2004.